

Sensibilité d'un contrôleur optimal sur un réseau d'assainissement unitaire par rapport à l'exactitude des prévisions des débits entrant

Sensitivity of an optimal controller in a combined sewer system to the accuracy of inflow forecasting

David Fiorelli, Georges Schutz

Centre de Recherche Public Henri Tudor, LTI-BSA, 29 avenue John F. Kennedy, L-1855, Luxembourg-Kirchberg, Luxembourg (david.fiorelli@tudor.lu)

RÉSUMÉ

Le travail présenté dans cet article examine l'utilisation d'une fonction objectif multi-critères pour minimiser les déversements dans un réseau d'assainissement unitaire durant des périodes de pluie. La fonction objectif employée essaie de minimiser les déversements, mais également de distribuer de manière homogène la charge hydraulique à travers le réseau tout en gardant le débit arrivant à la station d'épuration le plus proche possible d'une valeur de référence constante.

Cette approche a été testée sur un simulateur développé pour le réseau d'assainissement comprenant 24 bassins de rétention planifié dans la région nord-ouest du Grand-Duché de Luxembourg.

Les effets positifs et négatifs de chaque critère sont décrits en fonction de 4 catégories de périodes de pluie différenciées par la durée et l'intensité des événements pluvieux. De plus, la sensibilité par rapport aux prévisions des débits entrant utilisés par le contrôleur prédictif a été étudiée.

ABSTRACT

The present work investigates the use of a multi-goal objective function for minimizing combined sewage overflow (CSO) in a sewer network during rain events. The objective function used, tries to minimise overflows but also tries to distribute the hydraulic load homogenously over the network while keeping the inflow to the wastewater treatment plant as close as possible to constant reference value.

The approach has been tested on a simulator developed for a 24 retention reservoirs sewer network planed for the north-western region of the Grand Duchy of Luxembourg.

The positive and negative effects of each criterion are described with regard to 4 rain period classes differentiated by rainfall intensity and rain duration. Furthermore, the sensitivity to the influent flows forecasting method used by the predictive controller has been studied.

MOTS CLÉS

Contrôle en temps réel, Contrôle prédictif, Optimisation, Prédiction, Réseau unitaire d'assainissement

1 INTRODUCTION

Situé dans la région nord-ouest du Luxembourg, le lac de la Haute-Sûre est le réservoir d'eau potable le plus important du pays puisqu'il approvisionne en effet 70% de la population luxembourgeoise. Pour protéger cette ressource d'intérêt national il a été décidé d'évacuer les eaux usées des villages environnants vers une nouvelle station d'épuration (STEP) qui a été construite en aval du barrage. Ce réseau unitaire d'assainissement sera composé à terme de 24 bassins d'orage qui pourront être contrôlés afin de minimiser les déversements durant les périodes de pluie.

Cet article présente le contrôleur envisagé pour automatiser la régulation des volumes dans ces bassins d'orage. Ce contrôleur est basé sur des objectifs à optimiser et sur la prédiction des flux dans le réseau. Les critères d'optimisation utilisés seront tout d'abord présentés, et leurs performances ainsi que leur sensibilité par rapport à l'exactitude des prévisions et à l'intensité des débits entrants dans le réseau seront ensuite discutées

2 METHODOLOGIE

2.1 Le contrôleur optimal

L'approche choisie est inspirée de la théorie du contrôle prédictif (Maciejowski, 2002) en résolvant à chaque pas de temps un problème d'optimisation. Le but est de minimiser une fonction de coût (ou fonction objectif) sur un horizon de prédiction H_p tout en tenant compte des contraintes physiques du système (eq.1). (Fiorelli, 2008) a montré l'intérêt d'utiliser pour ce réseau une fonction de coût multi-objectifs J dont les critères à optimiser sont trois des objectifs classiquement employés pour le contrôle de réseau d'assainissement (Cembrano, 2004 ; Gelormino, 1994 ; Marinaki, 1997 ; Marinaki, 2003 ; Pleau, 2005):

- distribution homogène des volumes d'eau dans le réseau φ_1 (eq.2)
- débit constant à l'entrée de la station d'épuration φ_2 (eq.3)
- éviter les déversements φ_3 (eq.4)

$$\begin{aligned} \text{minimiser} \quad & J = \sum_{n=t}^{t+H_p} \lambda \varphi_1(n) + \beta \varphi_2(n) + \alpha \varphi_3(n) \\ \text{sous les contraintes} \quad & c_i(\mathbf{x}) = 0 \quad i \in E \\ & c_i(\mathbf{x}) \geq 0 \quad i \in I \end{aligned} \quad (\text{eq.1})$$

$$\text{où } \varphi_1(n) = \sum_{i=1}^N \left\| V_i(n) - \frac{V_i \max}{\sum_{i=1}^N V_i \max} \sum_{i=1}^N V_i(n) \right\| \quad (\text{eq.2})$$

$$\varphi_2(n) = \left\| y_{ref}(n) - \sum_i^{N_k^*} Out_i(n - d_{i,k}) \right\| \quad (\text{eq.3})$$

$$\varphi_3(n) = \sum_{i=1}^N \| Ov_i(n) - NL \| \quad (\text{eq.4})$$

Avec λ , β et α les coefficients des pondération des objectifs, n les instants pour chaque pas de temps choisi arbitrairement égal à 10 minutes, i l'indice du bassin, N le nombre total de bassins, $V_i(n)$ le volume d'eau dans le bassin i à l'instant n , $V_i \max$ le volume maximal du bassin i , $Out_i(n)$ le volume sortant du bassin i à l'instant n , N_k^* les indices des bassins s'écoulant directement vers la STEP, $d_{i,k}$ le temps moyen d'écoulement du bassin i vers la STEP, $y_{ref}(n)$ la valeur de référence pour le débit à l'entrée de la STEP à l'instant n , $Ov_i(n)$ le volume déversé au bassin i à l'instant n et NL une constante négative introduite dans le but de préserver la linéarité du problème (Gillé, Fiorelli 2008).

L'ensemble des contraintes d'égalité représentent les équations de conservation de masse pour chaque bassin et pour chaque pas de temps tout au long de l'horizon de prédiction (eq.5)

$$V_i(n+1) = V_i(n) + In_i(n) - Out_i(n) - Ov_i(n) \quad (\text{eq.5})$$

pour $i = 1 \dots N$ et $n = t, t+1, \dots, t+Hp$

L'ensemble des contraintes d'inégalité permet de prendre en compte les limitations physiques des bassins, des pompes et de l'ensemble N_p des conduites... (eq.6)

$$\begin{aligned} 0 &\leq V_i(n) \leq V_i \text{ max} \\ 0 &\leq Out_i(n) \leq Out_i \text{ max} \\ 0 &\leq Ov_i(n) \end{aligned} \quad (\text{eq.6})$$

$$Q_{pipe_j}(n) = \sum_k^{N_j} Out_k(n - d_{k,j}) \leq Q_{pipe_j} \text{ max}$$

pour $i = 1 \dots N; j \in N_p$ et $n = t, t+1, \dots, t+Hp$

(Gillé 2008) a démontré que, pour cette approche, les flux des volumes d'eau dans le réseau pouvaient être simplement modélisés par des temps parcours moyens (eq.3, eq.6).

La solution de ce problème d'optimisation ainsi formulé est calculée en utilisant la boîte à outils CVX développé par (Grant, Boyd 2008) permettant de résoudre aisément dans Matlab® des problèmes d'optimisation convexes.

2.1.1 Prédiction et correction de l'estimation

L'idée du contrôleur prédictif est de vouloir anticiper le comportement du système à contrôler. Il paraît donc évident que les estimations sur l'horizon de prédiction H_p des futures entrées du système (dans notre cas les débits affluant dans les bassins) et qui sont prises en compte dans les équations (eq.1, eq.5, eq.6) vont influencer directement l'action du contrôleur et par ce fait ses performances. Pour tester la sensibilité de notre contrôleur aux prédictions des débits entrants nous avons considéré diverses manières de prévision de ces grandeurs pour un horizon de prédiction de 2 heures (temps de parcours moyen entre la STEP et le bassin le plus éloigné) (voir Figure 1) :

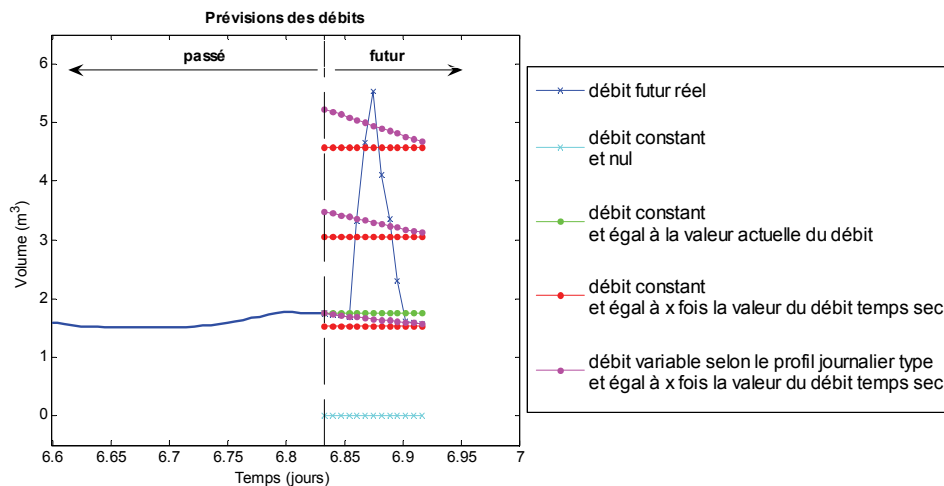


Figure 1 : les différentes prédictions des débits arrivant dans un bassin

L'erreur commise entre la prévision et la réalité à l'instant n peut-être utilisée pour ajuster la prévision sur le prochain horizon de prédiction en y ajoutant un terme de compensation (eq.8). Par cette astuce, utiliser en tant que prévision à priori un débit nul revient donc, en y ajoutant le terme de compensation, à utiliser sur l'horizon de prédiction un débit constant égal à la valeur actuelle

$$\hat{In}_i(n/t) = \hat{In}_i(n/t) + [In_i(n-1/t) - \hat{In}_i(n-1/t-1)] \quad (\text{eq.8})$$

pour $i = 1 \dots N$ et $n = t, t+1, \dots, t+Hp$

2.2 Application au réseau d'assainissement du lac de la Haute-Sûre

Le nouveau réseau unitaire d'assainissement construit autour du lac de la Haute Sûre forme un vaste réseau d'égouts qui transporte les eaux usées de 24 villages vers une station d'épuration à Heiderscheidergrund (Figure 2). Sur le plan ci dessus sont indiqués le volume maximum de chaque bassin ainsi que le temps de transport moyen des eaux entre chaque réservoir et la STEP calculés à l'aide d'un modèle hydraulique détaillé développé et simulé avec le logiciel Infoworks™.

La table 1 indique pour chaque bassin le débit affluent moyen de temps sec, le débit de sortie constant fixé par la procédure de dimensionnement basée sur la directive allemande ATV A-128 de 1992, et le débit maximum de sortie compte tenu de la limitation des conduites en aval.

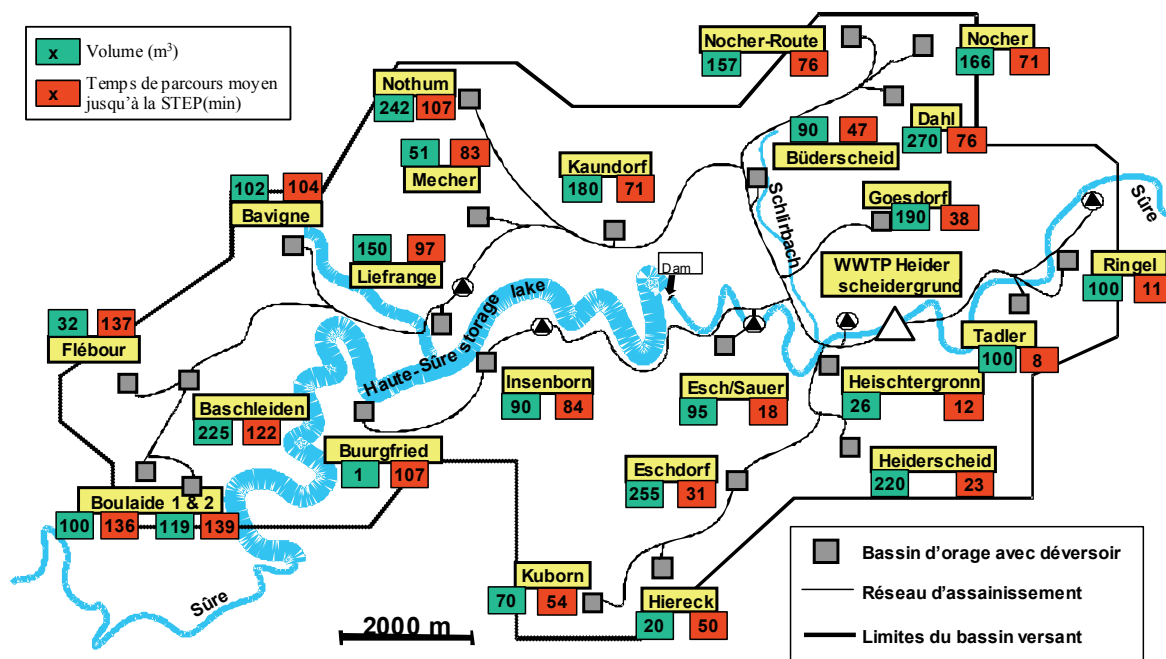


Figure 2 : Plan du nouveau réseau d'assainissement du lac de la Haute-Sûre

	Liefrange	Bavigne	Baschleiden	Flebour	Boulaide 1	Boulaide 2	Mecher	Nothum
Débit IN temps sec (m3/h)	9,2	5,8	12,5	1,8	10,7	16,8	3,3	9,5
Débit OUT fixe (m3/h)	19,8	13,7	87,5	7,2	23,0	33,8	12,6	24,5
Débit OUT max (m3/h)	324,0	54,0	183,6	14,4	111,6	68,4	32,4	68,4
	Kaundorf	Nocher-Route	Nocher	Dahl	Buderscheid	Goesdorf	Esch/Sauer	Insenborn
Débit IN temps sec (m3/h)	8,1	8,6	5,3	9,4	5,9	15,3	16,9	13,6
Débit OUT fixe (m3/h)	20,2	21,6	21,6	21,6	13,0	33,5	32,0	23,8
Débit OUT max (m3/h)	327,6	50,4	50,4	43,2	511,2	97,2	132,5	68,4
	Buurgfried	Eschdorf/Ost	Kuborn	Hiereck	H-grund	Heiderscheid	Ringel	Tadler
Débit IN temps sec (m3/h)	0,4	19,0	3,2	1,0	3,8	13,7	1,8	2,1
Débit OUT fixe (m3/h)	5,4	48,0	7,2	7,2	22,0	31,0	7,9	7,2
Débit OUT max (m3/h)	14,4	154,8	54,0	54,0	774,0	345,6	82,8	82,8

Table 1 : Débits caractéristiques pour chaque bassin

2.2.1 Les évènements pluvieux

Les évènements de pluie utilisés pour tester le contrôleur optimal proviennent d'un pluviomètre installé sur ce bassin versant depuis 2003. Une période d'environ 1 mois (du 25 juin au 23 juillet 2005) a été utilisée pour simuler une pluie homogène sur tout le bassin versant dans le modèle Infoworks™ et établir ainsi les écoulements arrivant sur chaque bassin du réseau. Cette période fut utilisée car elle contient une suite d'évènements pluvieux aux caractéristiques très variées (Table 2).

La figure 3 ci-dessous représente les 28 jours de pluie réelle séparés intuitivement en quatre parties selon la durée et l'intensité. On peut y observer en bleu l'intensité de la pluie enregistrée toutes les 10 minutes et en rouge le volume virtuel (en supposant que la capacité du réservoir soit illimitée) que devrait "stocker" le bassin à Liefrange calculé en considérant un débit de sortie fixe.

	caractéristiques des débits entrant lors des événements pluvieux durant cette période (DWF = débit de temps sec)
orage très intense	250x DWF sur 30min
pluie courte et faible	3x DWF sur 6h et 11h
pluie longue et forte	5x DWF sur 10h et 15h, 7x DWF sur 9h, 9x DWF sur 4h
pluie longue et faible	2x DWF sur 16h, 5x DWF sur 4h, 5h 7h et 8h

Table 2 : caractéristiques des événements pluvieux

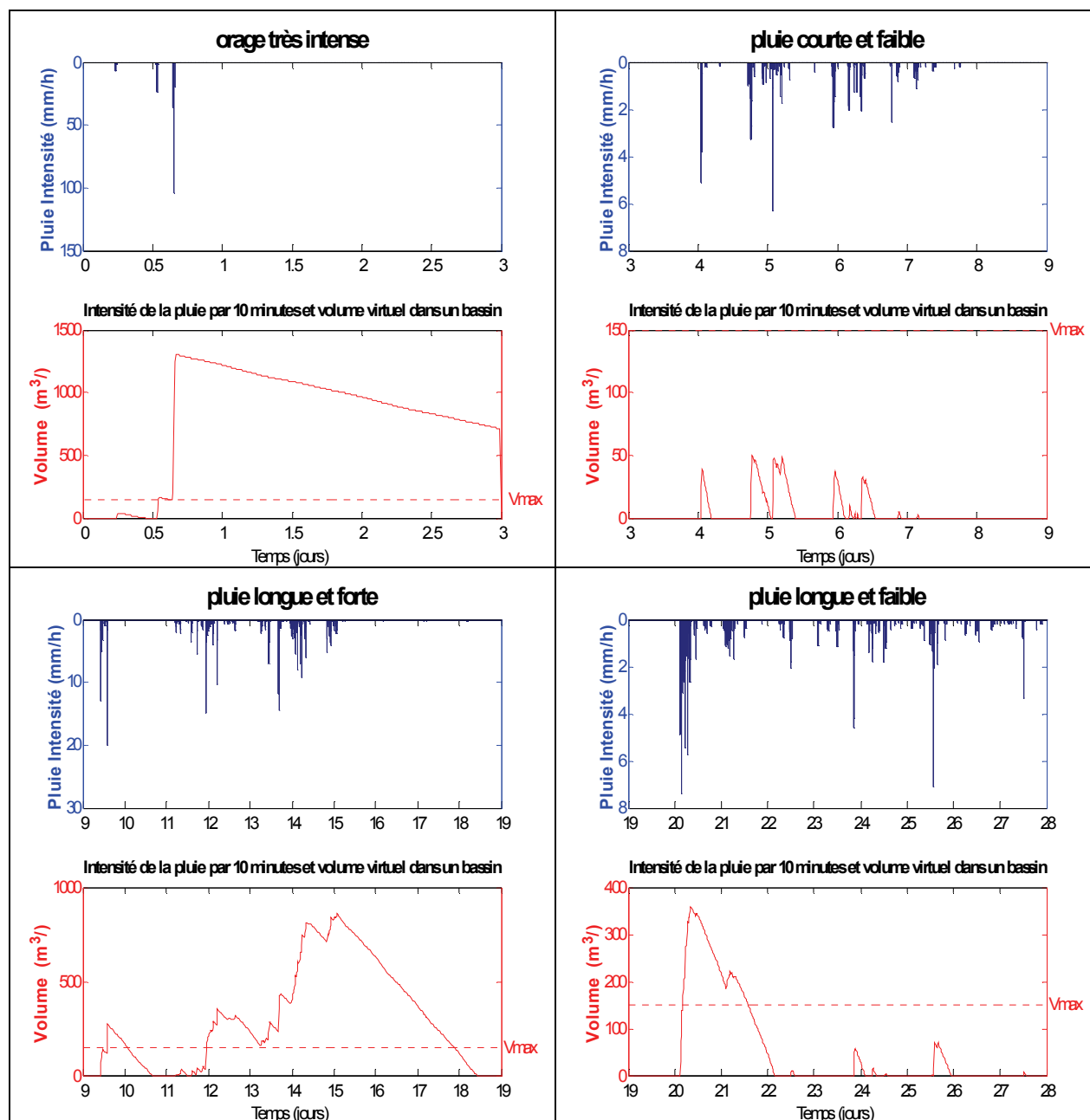


Figure 3: Intensité de la pluie (par période de 10 minutes) et volume virtuel dans le bassin à Liefrange

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Efficience des objectifs

Chaque objectif qui compose la fonction de coût tend à réduire plus ou moins les déversements mais, même si chacun d'entre eux entraîne des effets positifs, chacun possède également des effets secondaires (Table 3). D'où l'avantage de les combiner et d'utiliser un contrôle basé sur une optimisation multi-critères comme démontré dans (Fiorelli 2008). De plus, bien que la réduction des déversements dans le lac soit la principale mission du contrôleur dans ce projet, l'idée de réguler le débit d'entrée de la STEP est intéressante dans une approche de contrôle intégrée (réseau+STEP). Cependant la combinaison de plusieurs objectifs en partie contradictoires dans la fonction de coût nécessite de pondérer chacun d'entre eux afin de réaliser un bon compromis : chose qui n'est pas triviale. Par une approche heuristique (par tâtonnements et grand nombre d'essais) une solution convenable a été trouvée avec $\lambda=1$; $\beta=1$ et $\alpha=5$ (eq.1).

La Table 4 résume les performances en simulation du contrôleur selon les caractéristiques de la pluie et la prévision des débits affluents. Deux indicateurs ont été choisis pour l'évaluation : l'erreur moyenne absolue entre le débit arrivant à la STEP et la valeur de référence choisie ($360 \text{ m}^3/\text{h}$) et le volume total déversé à travers le réseau (m^3). L'efficacité du contrôle à minimiser les déversements est indiquée en pourcentage par rapport à une performance théorique limite tenant compte des contraintes physiques du réseau d'assainissement et obtenue à posteriori en utilisant uniquement l'objectif « éviter les déversements » dans la fonction coût (eq. 1) c'est à dire avec $\lambda=0$; $\beta=0$ et $\alpha=1$, mais en choisissant un horizon de prédiction "infini" ($H_p \rightarrow \infty$).

Le contrôle basé sur l'optimisation d'une fonction objectif réduit de façon significative les déversements comparé à une approche statique avec des débits fixes. Si globalement l'approche multi-critères réduit le mieux la somme des déversements ce n'est pas toujours le cas. En effet et notamment pour la période de pluie longue et forte, l'approche multi-objectifs est même la pire des solutions. Ceci est dû à la valeur de référence choisie pour le débit à l'entrée de la STEP. Effectivement, plus celle-ci est faible plus lentement la capacité de stockage du réseau se libère ce qui est gênant lorsque des événements pluvieux importants se succèdent (Figure 5). Pour la pluie courte et faible c'est même le contrôle avec uniquement le critère de "distribution homogène" qui empêche le mieux les petits déversements. L'objectif "éviter les déversements", bien que le plus explicite, est très peu fonctionnel si les prévisions sous-estiment l'importance des eaux de pluie à traiter.

Objectif : éviter les déversements φ_3 (eq.4)	
Av.	<ul style="list-style-type: none"> Minimise les déversements (explicite) Anticipe les pics de débit Permet de pénaliser plus ou moins le déversement à chaque bassin selon la sensibilité du milieu récepteur
Inc.	<ul style="list-style-type: none"> Anticipation limitée lorsque les pics ne sont pas prévisibles !
Objectif : distribution homogène des volumes d'eau dans le réseau φ_1 (eq.2)	
Av.	<ul style="list-style-type: none"> Réduit indirectement les déversements en utilisant de façon homogène la capacité de stockage du réseau Empêche de trop fortes fluctuations des débits de sortie des bassins
Inc.	<ul style="list-style-type: none"> N'est pas approprié lorsque les volumes des bassins ne sont pas adaptés à leurs bassins versants ou lorsque leurs temps de vidange sont très différents Ne convient pas pour des bassins éloignés Produit l'effet contraire lorsque la majorité des bassins sont totalement pleins
Objectif : débit constant à l'entrée de la STEP φ_2 (eq.3)	
Av.	<ul style="list-style-type: none"> Vide les réservoirs et les laisse vides lorsqu'il n'y a pas assez d'eau dans le réseau pour que le débit à l'entrée de la STEP atteigne la valeur de référence souhaitée.
Inc.	<ul style="list-style-type: none"> N'affecte pas les structures qui ne s'écoulent pas directement vers la STEP Réduit la rapidité d'évacuation de l'eau dans le réseau d'autant que la valeur de référence est faible

Table 3 : Effets positifs et négatifs des objectifs sur la minimisation des déversements des bassins

prévision des débits entrant dans les bassins	compensation	Erreur moyenne [Yref-INstep] (m³/s)	Volume total déversé (m³/s)							
			dépassement par rapport à la limite théorique (%)							
			intense		courte faible		longue forte		longue faible	
Meilleure performance théorique pour la minimisation des déversements										
réel			17144		0		10684		2730	
Contrôle statique avec des débits en sortie des bassins fixes										
18,5			17614		2,7%		0		16277 52,4% 5056 85,2%	
Contrôle basé sur une optimisation mono-objectif (λ=1; β=0; α=0)										
réel		19,1	18040 5,2%		0,0		15416 44,3%		4967 81,9%	
IN (t-1) _cte	non	19,6	18138 5,8%		0,2		15663 46,6%		5124 87,7%	
0	non	18,9	18278 6,6%		1,1		16388 53,4%		5262 92,8%	
1xDWF _cte	non	19,1	18141 5,8%		0,5		15500 45,1%		4884 78,9%	
1xDWF _var	non	19,2	18125 5,7%		0,5		15510 45,2%		4879 78,7%	
IN (t-1) _cte	oui	19,6	18002 5,0%		0,2		15492 45,0%		5033 84,4%	
0	oui	19,4	18138 5,8%		0,2		15663 46,6%		5124 87,7%	
1xDWF _cte	oui	19,4	18138 5,8%		0,2		15663 46,6%		5124 87,7%	
1xDWF _var	oui	19,5	18124 5,7%		0,2		15640 46,4%		5116 87,4%	
Contrôle basé sur une optimisation mono-objectif (λ=0; β=0; α=1)										
réel		19,9	17470 1,9%		0,0		11901 11,4%		3314 21,4%	
IN (t-1) _cte	non	20,0	18019 5,1%		2,2		13616 27,4%		3915 43,4%	
0	non	19,6	18195 6,1%		11,9		15189 42,2%		4870 78,4%	
1xDWF _cte	non	19,6	17937 4,6%		2,0		14217 33,1%		4330 58,6%	
1xDWF _var	non	19,7	17915 4,5%		2,7		14201 32,9%		4343 59,1%	
IN (t-1) _cte	oui	19,9	18012 5,1%		3,7		13885 30,0%		3969 45,4%	
0	oui	20,0	18019 5,1%		2,2		13616 27,4%		3915 43,4%	
1xDWF _cte	oui	20,0	18024 5,1%		2,2		13629 27,6%		3915 43,4%	
1xDWF _var	oui	19,9	18022 5,1%		2,2		13621 27,5%		3923 43,7%	
Contrôle basé sur une optimisation multi-objectifs (λ=1; β=1; α=5)										
réel		17,8	17303 0,9%		0,0		14359 34,4%		2758 1,0%	
IN (t-1) _cte	non	17,2	17532 2,3%		1,5		16367 53,2%		3059 12,0%	
0	non	17,1	17875 4,3%		0,2		19908 86,3%		3584 31,3%	
1xDWF _cte	non	16,0	17618 2,8%		0,1		19530 82,8%		3216 17,8%	
1xDWF _var	non	16,5	17616 2,8%		0,1		19542 82,9%		3223 18,1%	
IN (t-1) _cte	oui	15,1	17630 2,8%		2,3		16972 58,9%		3135 14,8%	
0	oui	17,2	17532 2,3%		1,5		16367 53,2%		3059 12,0%	
1xDWF _cte	oui	16,2	17547 2,4%		1,5		16387 53,4%		3070 12,5%	
1xDWF _var	oui	15,5	17557 2,4%		1,5		16371 53,2%		3085 13,0%	

Table 4 : Performances du contrôleur selon les caractéristiques de la pluie et la prévision des débits affluents

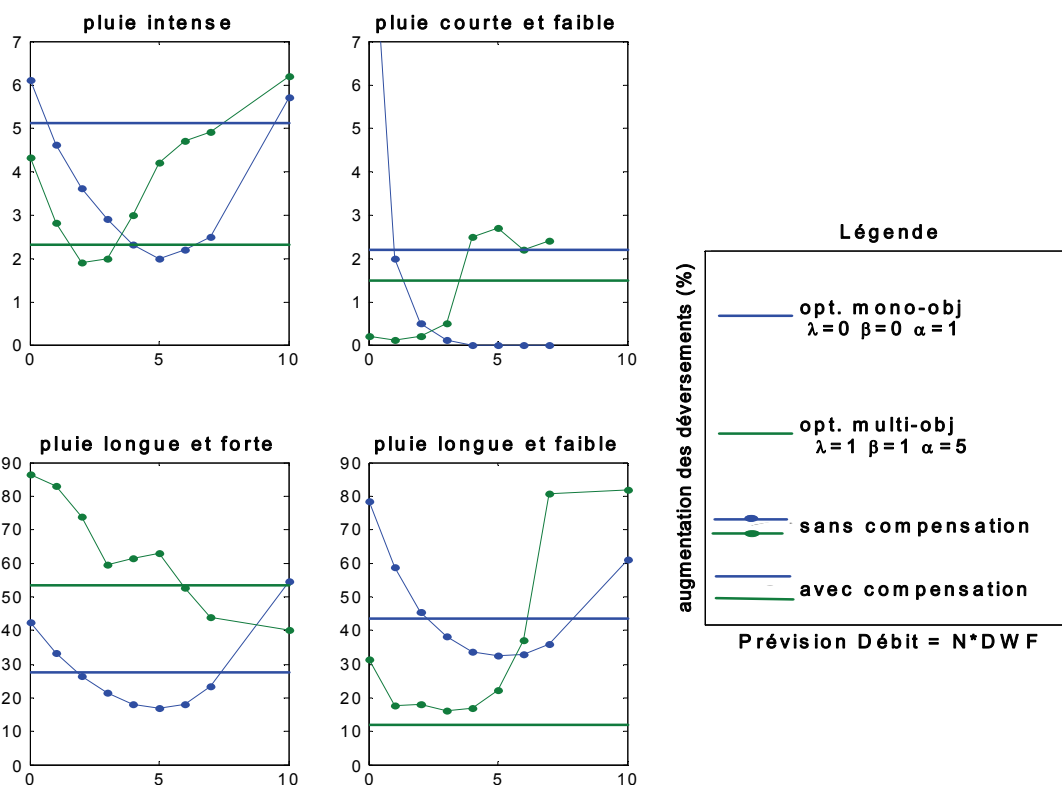


Figure 4 : influence sur l'augmentation des déversements en fonction de la prévision des débits (constant et égal à N fois le débit de temps sec)

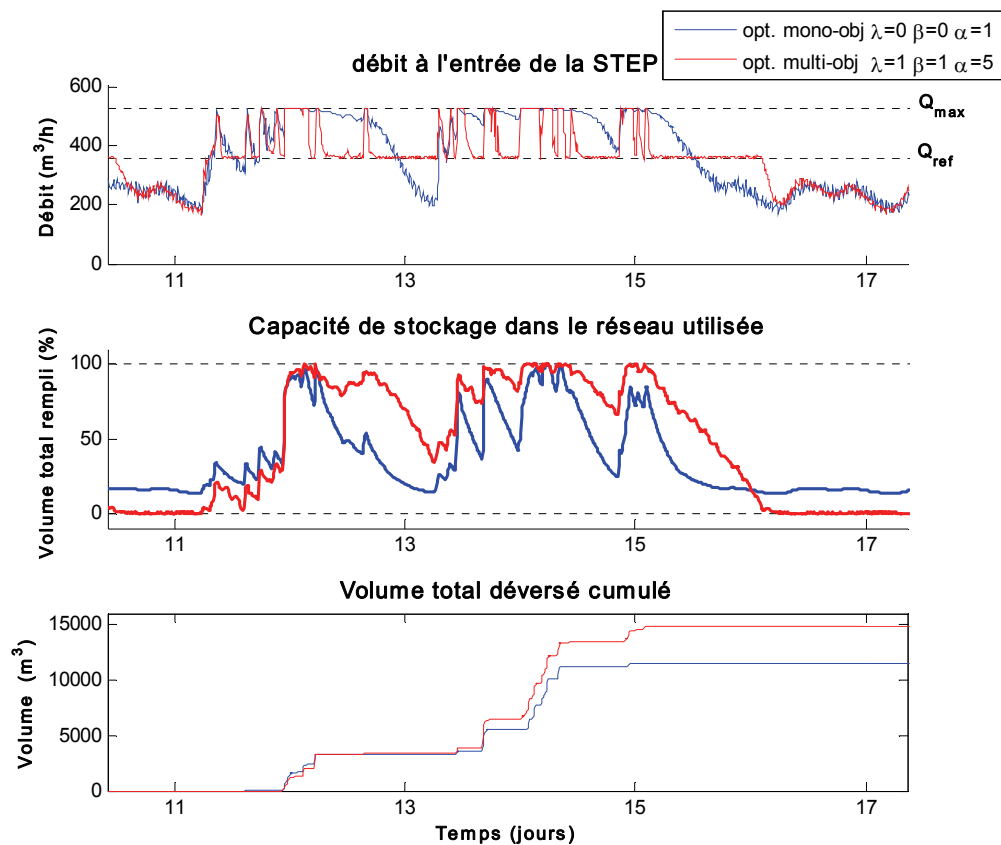


Figure 5 : Comparaison du contrôle optimal mono et multi-objectifs pour une période de pluie longue et forte

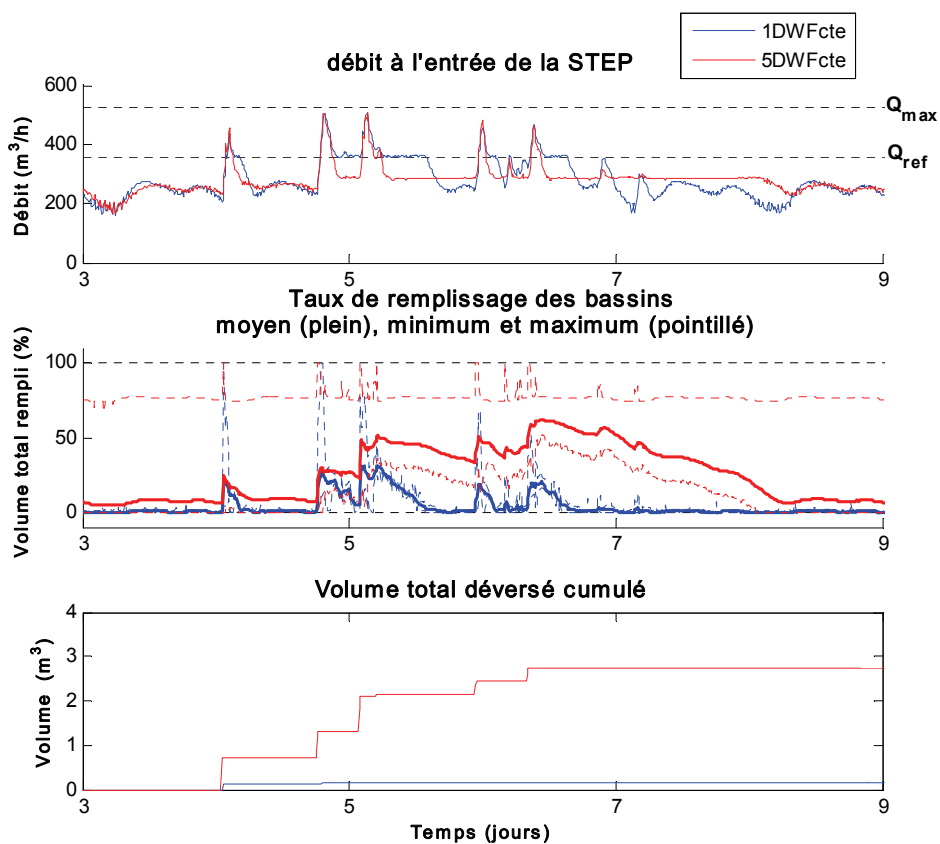


Figure 6 : Comparaison du contrôle optimal multi-objectifs pour une période de pluie courte et faible obtenu en utilisant en tant que prévision 1x ou 5x le débit de temps sec

3.2 Justesse des prévisions et performances

La principale fonction de notre contrôleur est de réguler les débits de sortie des bassins en anticipant les débits entrant durant les 2 prochaines heures. La prévision de ces débits, intégrée dans le calcul du contrôleur, joue donc un rôle prépondérant. On peut s'apercevoir toutefois qu'en utilisant un terme de compensation pour corriger les erreurs de prédiction a priori on réduit quasiment à néant l'influence de la prédiction des débits puisque l'on obtient quasiment les mêmes performances quelque soit la prévision utilisée a priori (Table 4). Mise à part pour une pluie longue et faible, les performances de l'optimisation multi-critères "avec compensation" sont globalement assez médiocres par rapport à celles obtenues "sans compensation" (Figure 4). Cette formule de "compensation" semble trop primitive pour gérer des "perturbations" si importantes comme c'est le cas ici.

L'application sur l'horizon de prédiction de débits "dynamiques" reproduisant le profil journalier n'apporte rien aux performances du contrôleur par rapport à des valeurs constantes. En effet par temps de pluie l'évolution du débit ne respecte plus du tout le profil de débit de temps sec et donc utiliser cette évolution n'a plus de sens.

Pour l'optimisation multi-objectifs et sans compensation des prédictions, il est préférable de ne pas prévoir des débits trop importants (2 ou 3 fois le débit de temps sec) et ce même si la pluie dans la réalité va s'avérer beaucoup plus intense (Figure 4). Cet aspect est dû aux caractéristiques du réseau (limitation du débit des pompes, des conduites). En effet, certains bassins ont un débit de sortie maximum qui est seulement de 4 ou 5 fois supérieur au débit de temps sec. Donc s'il est prévu, ne serait-ce que pour un bassin, un débit entrant plus grand que le débit maximal de sortie, alors, à la vue du contrôleur, ce bassin ne pourra rester complètement vide ce qui va entraîner, à cause du critère d'homogénéité, que le contrôleur va forcer les autres bassins à se remplir alors qu'il n'y a pas lieu d'être. On peut observer les conséquences de ses effets sur la Figure 6 où on s'aperçoit que tout au long des périodes sans pluie le débit à l'entrée de la station n'atteint pas la valeur de référence alors qu'il y a encore beaucoup d'eau stockée dans le réseau. On voit également que si le contrôleur essaie, avec les prévisions qu'il possède, d'obtenir un taux de remplissage égal pour tous les bassins, la réalité est tout autre et que l'homogénéité n'est pas du tout vérifiée: un bassin reste même tout le temps rempli au moins à 80% !

Par contre, cette remarque n'est pas valable pour une période de pluies longues et fortes car en anticipant de futurs gros débits on augmente entre 2 averses réelles le débit à l'entrée de la STEP par rapport à la valeur de référence c'est à dire que l'on vide plus rapidement le volume d'eau accumulé dans le réseau d'où de meilleures performances.

Pour l'optimisation mono-objectif ("minimiser les déversements") la courbe des performances en fonction de l'intensité des débits prévus sur l'horizon de prédiction est beaucoup plus lisse et arrondie. Son optimum semble se situer autour de 5DWF même pour la pluie d'orage très intense (Figure 4).

4 CONCLUSION

L'application sur un réseau unitaire d'assainissement d'un contrôle prédictif basé sur optimisation multi-objectifs a été analysée. Il a été vu que si chaque objectif procure des avantages chacun apporte également des désavantages. Cet article met en plus en avant que cette influence positive ou négative dépend substantiellement des caractéristiques de la période de pluie (intensité et durée).

Au vu des résultats obtenus, il conviendrait d'ajuster les coefficients de pondération des objectifs en fonction des prévisions à moyen terme de la durée et de l'intensité des pluies afin de s'adapter ainsi au mieux à la situation à gérer. D'une manière générale, l'ajout dans la fonction de coût d'un critère pour pénaliser une trop grande quantité d'eau stockée dans le réseau semble être assez opportun.

Ce contrôleur tel qu'il est formulé ne se préoccupe que des volumes d'eau. Une grande amélioration serait de réduire la charge de pollution déversée mais il faudrait alors définir un modèle relativement simple de la qualité de l'eau à travers le réseau ce qui n'est pas une tâche triviale.

Une telle solution de conduite optimale d'un réseau d'assainissement sera prochainement implémentée pour le réseau de la "Haute-Sûre".

BIBLIOGRAPHIE

- Cembrano, G., Quevedo, J., Salameró, M., Puig, V., Figueras J., and Martí J. (2004) *Optimal control of urban drainage systems. A case study*, Control engineering Practice, vol. 12, pp.1-9.
- Fiorelli, D. and Schutz, G. (2009): *Real-time control of a sewer network using a multi-goal objective function*. 17th Mediterranean Conference on Control and Automation MED09', Thessaloniki, Gr.
- Gelormino, M. and N. Ricker, N. (1994). *Model-predictive control of a combined sewer system*, Int. J. Control, vol. 59, pp. 793-816.
- Gillé, S., Fiorelli, D., Henry E. & Klepyszewski, K. (2008): *Optimal operation of a sewer network*, in Proc. of the 11th International Conference on Urban Drainage 11ICUD, Edinburgh, UK
- Grant, M. & Boyd, S. (2008) CVX: *Matlab software for disciplined convex programming*, web page and software. Available <http://stanford.edu/~boyd/cvx>
- Maciejowski, J. (2002): *Predictive Control with Constraints*. Prentice Hall, Pearson Education Limited.
- Marinaki, M. & Papageorgiou, M. (1997): *Central Flow Control in Sewer Networks*. Journal of Water Resources Planning and Management, 123, 274-283.
- Marinaki, M. & Papageorgiou, M. (2003): *Linear-Quadratic Regulators Applied to Sewer Network Flow Control*. European Control Conference ECC '03, Cambridge, UK.
- Pleau, M., Colas, H., Lavallée, P., Pelletier, G., Bonin, R. (2005): *Global optimal real-time Control of the Quebec urban drainage system*. Environmental Modelling & Software, 20, 401-413.